

XII ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS

ESTUDO COMPARATIVO DA APLICAÇÃO DE TÉCNICAS SIMPLIFICADAS BASEADAS NO MÉTODO RACIONAL COM O MODELO SWMM EM UMA ÁREA URBANA DE 15 HECTARES

*Daniela Junqueira Carvalho¹; Izadora Pimenta Carvalho²; Maria Elisa Leite Costa³; Jeferson da
Costa⁴ & Sérgio Koide⁵*

RESUMO – A drenagem urbana, segundo a visão higienista, tem como princípio drenar a água das precipitações o mais rápido possível para jusante, coletadas por bocas de lobo, sarjetas e outros dispositivos de microdrenagem, e serem direcionadas para tubulações de macrodrenagem para lançá-las em um certo ponto de menor altitude onde possivelmente existe um corpo d'água. Para dimensionar essas estruturas, o Método Racional é utilizado como forma de obter a vazão de projeto, inclusive recomendada pelo Termo de Referência da NOVACAP no DF, porém é importante verificar a sua validade. O PCSWMM é um programa que realiza as simulações hidrológicas e hidráulicas com o uso da modelagem hidrodinâmica associado ao uso do geoprocessamento. Neste artigo avaliou-se, em uma área localizada no Riacho Fundo, o comportamento do escoamento nos condutos de uma rede por trecho e verificou-se as diferenças (de vazão e velocidade) obtidas considerando escoamento permanente e vazões calculadas pelo Método Racional (técnica simplificada) e, utilizando o PCSWMM, calculando-se a propagação pelo método da onda dinâmica e vazões calculadas pelo método da Curva Número do SCS. Concluiu-se que as discrepâncias encontradas foram mínimas, confirmando o princípio de que a técnica simplificada pode ser usada para áreas inferiores a 300 ha.

ABSTRACT – Urban drainage, by the hygienist vision, has as principle to drain the water precipitated as quickly as possible downstream, collected by streets, gutters and other microdrainage devices and directed to macrodrainage pipelines, to launch at lower level point where there is possibly a water body. To size these structures, the Rational Method is used as a way to obtain the project flow, even recommended by NOVACAP's Handbook in the DF, but it is important to verify its validity. PCSWMM is a program that performs the hydrological and hydraulic simulations with the use of hydrodynamic modeling associated with the use of geoprocessing. In this article, the behavior of the flow in the conduits of a network was evaluated in each section for an area located in Riacho Fundo, and the differences (of flow and velocity) were verified between the consideration of permanent flow and calculation from the Rational Method (simplified technique), and the use of PCSWMM, considering the dynamic wave method for propagation of the flow and calculation from the Soil Conservation Service's Curve Number method. It was concluded that the discrepancies found were minimal, confirming the principle that the simplified technique can be used for areas smaller than 300 ha.

Palavras-Chave – Rede de drenagem urbana, Vazão de pico, modelagem matemática.

1) Graduanda em Engenharia Ambiental pela UnB. Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, d.junqueirac@gmail.com. 2) Graduanda em Engenharia Ambiental pela UnB. Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, izadoraprc@gmail.com. 3) Doutoranda pelo Programa de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos da UnB. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Campus Universitário Darcy Ribeiro, SG -12, Sala 04, Asa Norte, mariaelisa@unb.br. 4) Regulador de Serviços Públicos da Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do DF, Superintendência de Drenagem Urbana. Estação Rodoferroviária de Brasília Zona Industrial- Brasília, DF – Brasil. jeferson.costa@adasa.df.gov.br. 5) Professor do Programa de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos da Universidade de Brasília. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Campus Universitário Darcy Ribeiro Asa Norte, SG 12. Sala 12. skoide@unb.br.

INTRODUÇÃO

O escoamento superficial é importante nos estudos hidrológicos em áreas urbanas devido à necessidade de construção de infraestruturas para proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento rápido, como enchente e alagamentos (Carvalho & Silva, 2006).

Essas infraestruturas formam os sistemas de drenagem urbana. Esses sistemas são criados para escoar as águas da chuva acumuladas pelas ruas que, no Brasil, usualmente, utilizam-se do tipo separador absoluto (Righetto, 2009). Fontes (1999) *apud* Souza (2001) já promove um conceito mais amplo, que o sistema de drenagem trata-se: “do conjunto de medidas que visam à minimização dos riscos a que as populações estão sujeitas; à redução dos danos causados por inundações; à promoção do desenvolvimento urbano, harmônico, articulado e sustentável”.

Para determinação das vazões de dimensionamento, o Método Racional é usualmente utilizado para se obter as vazões máximas de projeto. Nele, é estabelecida uma relação entre a precipitação e o escoamento superficial, sendo um método fácil e simplificado mas que pode acarretar em discrepâncias com a realidade para áreas superiores a 300 ha ou tempos de concentração superiores a um hora (Equação 1; Tomaz, 2013).

$$Q = C * I * A \quad (1)$$

Em que Q = vazão (L/s); C= coeficiente de escoamento superficial da área contribuinte; I = intensidade de chuva (L/s x ha); A= área de contribuição em hectares.

A NOVACAP - Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil - é o órgão do Distrito Federal responsável pela execução dos serviços de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, tendo suas atividades regulada pela ADASA. A mesma utiliza o Termo de Referência de 2012 para disciplinar a execução dos projetos executivos de sistemas de drenagem pluviais, como também reavaliar estruturas já existentes, e de maneira geral, indica o Método Racional para determinação da vazão de projetos da rede com áreas de contribuições de até 300 ha. Para áreas superiores, recomenda-se modelos de transformação chuva-vazão.

Os modelos chuva-vazão estimam o escoamento superficial a partir de um evento de precipitação, por meio de perdas por armazenamento em depressões, interceptação, perdas por infiltração e de propagação da água na superfície. Associando a geração a um modelo hidráulico de propagação do escoamento em redes de condutos e canais, forma-se um modelo de drenagem urbana, como o *Storm Water Management Model* - SWMM.

O SWMM tem como uma das principais funções o dimensionamento do sistema de drenagem urbano tendo em vista o controle de alagamentos nas cidades. Ele representa a rede de condutos por

meio de um conjunto de vínculos, como os condutos; e nós como os poços de visitas. A partir de dados de precipitação, os hidrogramas de escoamento superficial, determinados pelo modelo hidrológico, advindos de sub-áreas contribuintes, são adicionados aos nós e propagados na rede pelo modelo hidráulico.

No SWMM é possível a utilização da propagação do fluxo na rede pelo modelo da onda dinâmica. Este modelo consegue tratar de casos com escoamento pressurizado, fenômeno de afogamento da tubulação. (Rossman, 2010).

Dessa forma, este artigo visa a analisar a aplicabilidade dos métodos e apresentar os resultados obtidos da comparação dos valores de vazão e velocidade obtidos pela utilização do Método Racional e pela simulação feita com o Modelo SWMM.

METODOLOGIA

Área de Estudo

A região utilizada neste estudo é um pequeno trecho da Região Administrativa do Riacho Fundo, I completamente urbanizado, com área total de aproximadamente 15,03 hectares, que foi dividida em 15 sub-bacias, conforme mostrado na Figura 1.

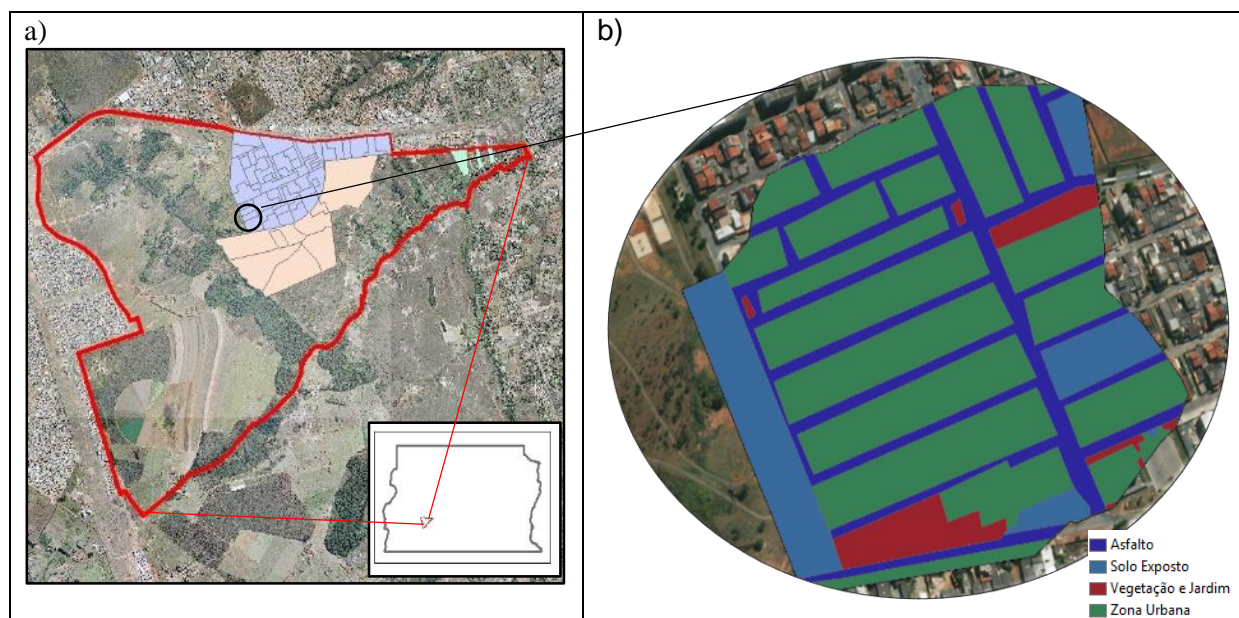


Figura 1 - Detalhamento da Área de Estudo.

Método Racional

Segundo Tomaz (2013), o método racional é um método indireto e estabelece uma relação entre chuva e escoamento superficial. Ele é utilizado para a determinação das vazões máximas de projeto, para se fazer o dimensionamento de redes de drenagem. Neste método, os princípios básicos são a adoção de um coeficiente de escoamento, C , que indica o nível de impermeabilização da área.

Não há avaliação do volume da cheia e da distribuição temporal das vazões, e a duração da precipitação máxima de projeto é igual ao tempo de concentração da bacia. (Tucci *et al.*, 1995).

Para o cálculo do coeficiente de escoamento foi necessário obter informações a respeito do uso e ocupação da área de estudo. Foram adotadas quatro classes, conforme mostrado na Figura 1. Com a obtenção da área total de cada categoria para o uso e ocupação do solo, fez-se a média ponderada e o coeficiente de escoamento médio obtido e usado foi de 0,58, como descrito na Tabela 1.

Tabela 1 – Coeficiente de Deflúvio.

Uso e ocupação do solo	Coeficiente de Deflúvio	Área (ha)	Porcentagem (%)	Coef. de Deflúvio
Vegetação e jardim	0,15	0,89	5,95	0,58
Asfalto	0,90	3,30	21,93	
Zona urbana	0,60	8,71	57,92	
Solo exposto	0,20	2,13	14,19	
Área Total		15,03	100,00	

Para o cálculo das velocidades nas tubulações, utilizou-se a equação de Manning. Para adoção do valor para o coeficiente de rugosidade procurou-se levar em consideração o material da tubulação e o estado em que se encontra. Foi adotado o valor de 0,015. Para construção do evento de precipitação, pelo método dos blocos alternados, foi utilizada a IDF apresentada no PDDU-DF, com período de retorno de 10 anos. Conforme orientações do PDDU, a duração da chuva deve ser igual ou maior que o tempo de concentração de toda a bacia, portanto, para o primeiro poço de visita, adotou-se um tempo de concentração de 15 minutos, acrescentando para cada trecho a jusante o tempo de deslocamento da água na tubulação.

$$i = \frac{1574,7 \times Tr^{0,207}}{(tc+11)^{0,884}} \quad (2)$$

Em que I= intensidade de chuva (mm/h); Tr = p de retorno (anos); Tc = duração da chuva em minutos.

Modelagem Hidrológica e Hidráulica

Para a modelagem computacional do problema de águas pluviais na área de estudo foi utilizado o programa PCSWMM, que é um acoplamento do SWMM, bastante empregado em bacias urbanas, com um Sistema de Informação Geográfica

Foi utilizada a mesma IDF definida pela equação 02, porém o evento de precipitação de projeto foi construído com duração de 24 horas, discretizado pelo método dos blocos alternados a cada 5

minutos. Para a infiltração utilizou-se o método do SCS (Curva Número), classificando o CN pelo tipo de uso e ocupação das sub-bacias estudadas (Figura 2).

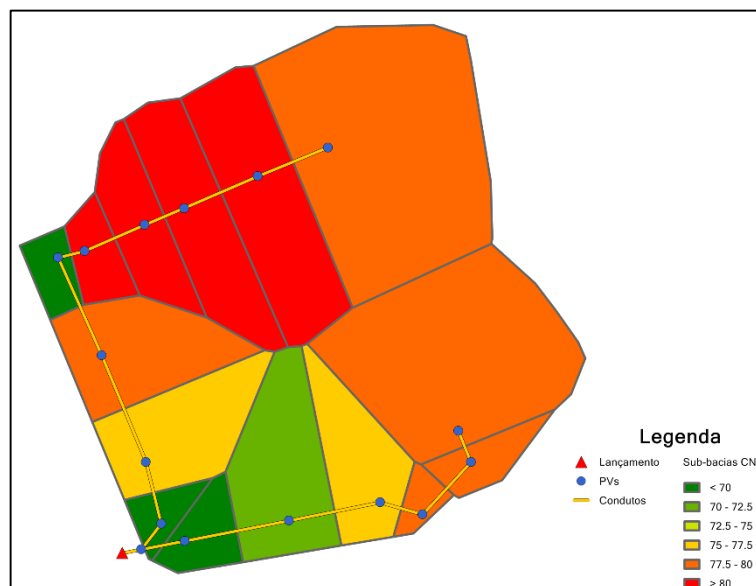


Figura 2 - Classificação dos CN para cada sub-bacia.

Além desses dados, foi utilizada a rede de drenagem existente, Figura 3, como os poços de visita: cotas, profundidade; as tubulações: seção, diâmetro, comprimento, como também os dados relativos às áreas de contribuição: declividade média, área, percentual permeável do solo. Uma vez que foi adotado o método SCS para o cálculo da infiltração, a impermeabilidade do solo já é considerada o coeficiente CN e a porcentagem de área impermeável da sub-bacia foi definida como nula de acordo com recomendação do programa para utilização do método. Os demais parâmetros, exceto pelo CN e pela área, foram deixados como os valores recomendados pelo programa. Para o estudo das vazões na rede f utilizada a modelagem hidrodinâmica, que utiliza a forma completa das equações de Saint Venant.

Os condutos estão identificados para posterior análise das velocidades e vazão que atravessam sua seção.

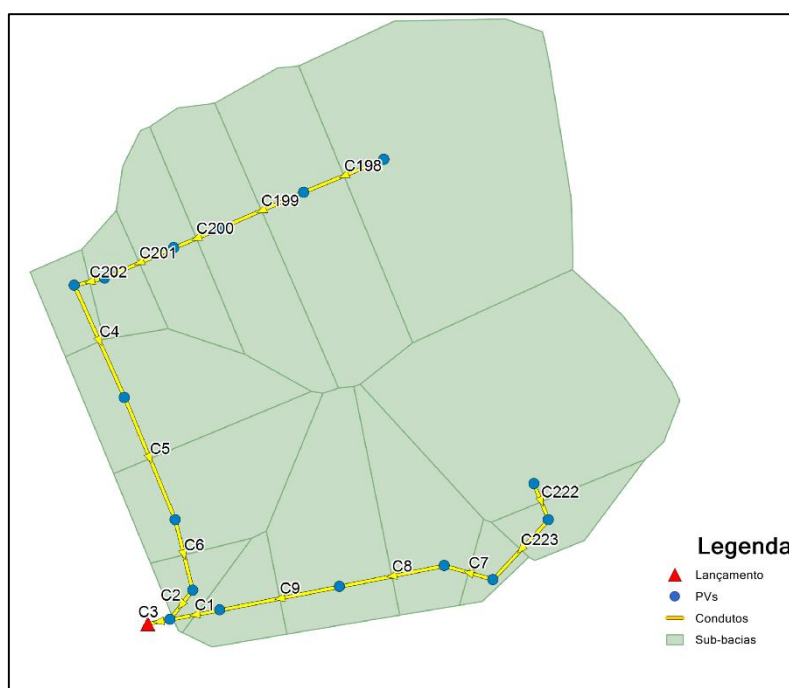


Figura 3 – Rede de drenagem existente no trecho estudado.

RESULTADOS

Análise da Rede de Drenagem

Realizou-se uma comparação entre as duas formas de cálculo discutidas:

- (i) Método Simplificado - cálculo de vazões baseado no método racional com precipitação constante por sub-bacia e cálculo hidráulico considerando escoamento permanente (conforme procedimento do Termo de Referência de 2012 da NOVACAP);
- (ii) PCSWMM – cálculo das vazões pelo método CN do SCS, cálculo hidráulico pelo método da onda dinâmica.

Para análise dos resultados foi elaborada a Tabela 2, com valores máximos calculados para a vazão e velocidade de cada trecho separados em Coletor 1, Coletor 2 e Trecho Final. O sistema estudo é composto por 16 condutos, com diâmetros variando de 600mm até 1200mm.

Percebe-se que na maioria dos casos, 81%, o método simplificado superestimou os valores da vazão e em 88%, as velocidades em relação aos valores obtidos com o PCSWMM. As maiores diferenças foram nas velocidades, que chegaram a quase 50% a mais em um dos condutos pelo método simplificado. Um dos problemas observados, é que no trecho final, a velocidade estimada pelo método simplificado foi de 6,4m/s, o que não é permitido pelo TR da NOVACAP, que especifica a máxima de 6 m/s, o que implicaria em mudanças na rede.

Quanto ao trecho final, a diferença entre as vazões foi de apenas 1%, o que não implicaria em grandes consequências para o dimensionamento da rede como um todo, e o que condiz com a

literatura, que indica o uso do método racional em áreas de até 300ha. Porém, quando foi feita a observação conduito a conduito as variações das vazões medidas diferem em até 25% para o conduito de 600mm, o que altera o comportamento hidráulico da rede.

Tabela 2 – Comparação Entre os Resultados Obtidos pelo Método Racional e pelo Método Hidrodinâmico.

Conduitos	Diâmetro(mm)		Vazão Estimada (l/s)			Velocidade(m/s)		
			Método Racional	PCSWMM	%	Método Racional	PCSWMM	%
Coletor 1								
C198	600	600	769,21	578	24,86%	4,73	3,3	30,23%
C199	800	800	1108,78	952	14,14%	5,34	3,59	32,77%
C200	800	800	1356	1252	7,67%	5,43	3,92	27,81%
C201	800	800	1501,82	1441	4,05%	5,24	4,49	14,31%
C202	1000	1000	1567,32	1532	2,25%	5,79	3,1	46,46%
C4	1200	1200	1618,72	1576	2,64%	3,17	1,91	39,75%
C5	1200	1200	1830,42	1829	0,08%	2,54	2,03	20,08%
C6	1200	1200	2013,69	2058	-2,20%	2,83	2,39	15,55%
C2	1200	1200	2040,73	2102	-3,00%	2,46	2,91	-18,29%
Coletor 2								
C222	800	800	594,03	506	14,82%	1,58	1,77	-12,03%
C223	800	800	659,07	584	11,39%	3,27	2,77	15,29%
C7	800	800	688,04	623	9,45%	4,19	3,09	26,25%
C8	800	800	865,74	814	5,98%	4,76	3,22	32,35%
C9	800	800	1115,81	1031	7,60%	4,63	3,88	16,20%
C1	800	800	1182,32	1104	6,62%	5,45	3,25	40,37%
Trecho Final								
C3	1200	1200	3171,88	3204	-1,01%	6,4	5,16	19,38%

Notou-se também que o PCSWMM superestima em relação ao método racional a vazão nos condutos C2, C6 e C3, porém em valores não superiores a 3%, todos localizados ao final do trecho após receber contribuições de muitos condutos.

O PCSWMM faz a simulação durante todo um evento de precipitação, sendo possível a geração do hidrograma de saída no exutório, conforme observado na Figura 4, permitindo observar todo o comportamento da vazão ao longo do tempo no conduito. Na Figura 5, observa-se o comportamento do conduito quando a vazão máxima o atravessa, verificando que o mesmo não sofre extravasamento e comporta a vazão máxima gerada pela chuva analisada.

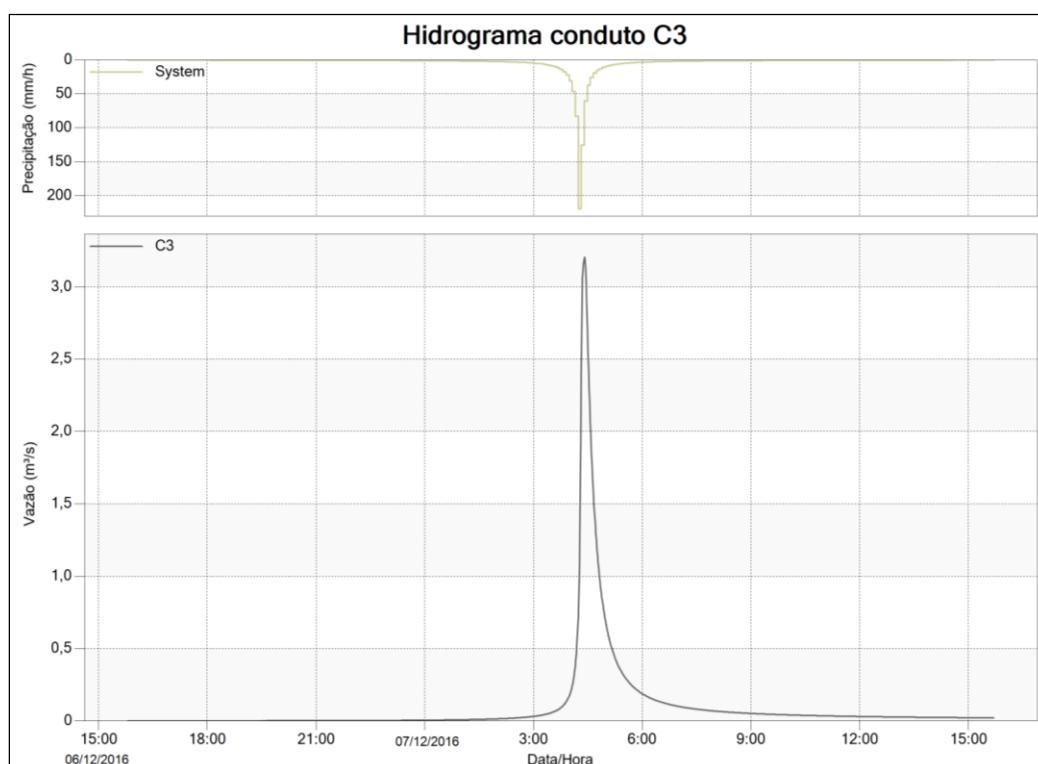


Figura 4 – Hidrograma no exutório.

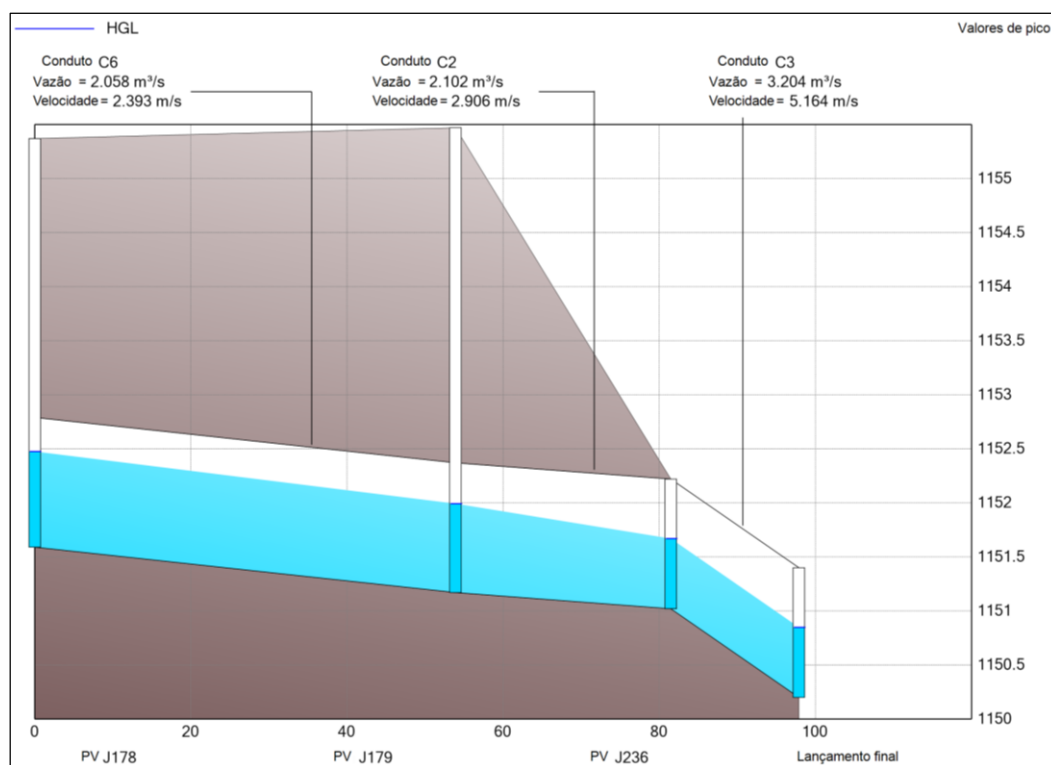


Figura 5 – Perfil do C3 no momento da passagem da vazão de pico.

CONCLUSÃO

A comparação entre metodologias permite analisar as vantagens e desvantagens de cada técnica para um uso específico. Apesar da facilidade nos cálculos, o método simplificado se mostrou satisfatório para o cálculo da vazão de projeto, apesar das diferenças em relação aos valores obtidos por simulação no PCSWMM.

O modelo PCSWMM vem se mostrando uma ferramenta de gestão extremamente útil por sua versatilidade e simplicidade no uso muito utilizada no meio acadêmico e vem sendo progressivamente adotado por projetistas e órgãos gestores.

O PCSWMM permite uma análise da bacia em estudo como um todo, como deve ser estudada, desde a inserção da rede com os parâmetros, definindo com maior precisão a área de contribuição e transferido para a jusante em cada nó o hidrograma resultante. O método racional deve ser mais utilizado em pequenas bacias e em estudos preliminares, sendo a modelagem hidrológica-hidráulica mais recomendada para avaliação dos sistemas de drenagem urbana.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a *CHIwater* por fornecer a licença do PCSWMM e a ADASA pelo apoio aos estagiários envolvidos neste estudo.

REFERÊNCIAS

- CARVALHO, D.F; SILVA, L.D.B. (2006). *Apostila de Hidrologia Completa*. UFRRJ, Rio de Janeiro - RJ.
- SOUZA, C.M.N. *Carência ou Precariedade dos Serviços de Drenagem Urbana e Ocorrência de Doenças de Importância para a Saúde Pública – Contribuição ao Estabelecimento de Modelo Causal*. (2001). Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília - DF.
- RIGHETTO, A.M.; MOREIRA, L.F.F.; SALES, T.E.A. (2009). “*Manejo de águas pluviais urbanas*”, in *Manejo de Águas Pluviais Urbanas*. Coord. por Righetto, A. M., ABES, Rio de Janeiro - RJ, pp. 19 - 73.
- ROSSMAN, L.A. (2010). *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0*. U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati (EUA), 285 p.
- SOUZA, F.P. (2014). *Monitoramento e Modelagem Hidrológica de Sub-Bacia do Lago Paranoá - Brasília/DF - e Avaliação de Bacias de Detenção*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília - DF.
- TOMAZ, P. (2013). *Curso de Manejo de águas pluviais: Método Racional*.
- TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L.; BARROS, M.T. (1995). *Drenagem Urbana*. ABRH, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, Porto Alegre - RS, 428 p.
- TUCCI, C.E.M. (1998). *Modelos hidrológicos*. Ed. Universidade UFRGS, Porto Alegre - RS. 669 p.